

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-092354

(43)Date of publication of application : 10.04.1998

(51)Int.Cl.

H01J 37/04

H01J 37/21

H01J 37/22

(21)Application number : 08-241903

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 12.09.1996

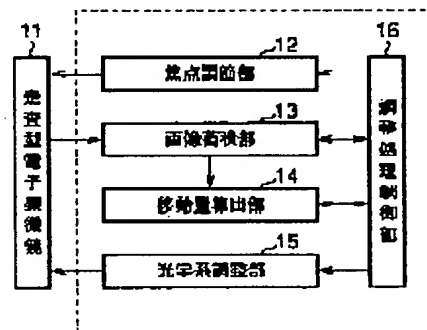
(72)Inventor : NAKAI HIROAKI

## (54) DEVICE AND METHOD FOR AUTOMATIC FOCUSING OF ELECTRON OPTICS SYSTEM FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To automatize focusing work for an electron optics system, relieve an operator from working load and greatly improve the throughput of work in inspecting semiconductors by adding a processor for images obtained from a scanning electron microscope.

**SOLUTION:** The refraction factor of an object lens for a scanning electron microscope 11 is changed by a focusing part 12 for focusing and the preset number of images obtained from the scanning electron microscope 11 in sequence are accumulated in an image accumulating part 13. Then, the moving range of specimen images which exist in the images is calculated by a moving range calculating part 14. A focusing control part 16 judges whether an electron optics system must be focused or not in accordance with the moving range of the specimen images and, if it must be focused, the optics system focusing part 15 focuses the electron optics system for the scanning electron microscope 11 in accordance with the moving range of the specimen images.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 11.09.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 25.02.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-92354

(43)公開日 平成10年(1998) 4月10日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 J 37/04  
37/21  
37/22

5 0 2

H 0 1 J 37/04  
37/21  
37/22

B  
B  
5 0 2 H

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平8-241903

(22)出願日 平成8年(1996) 9月12日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 中井 宏章

大阪府大阪市北区大淀中1丁目1番30号

株式会社東芝関西支社内

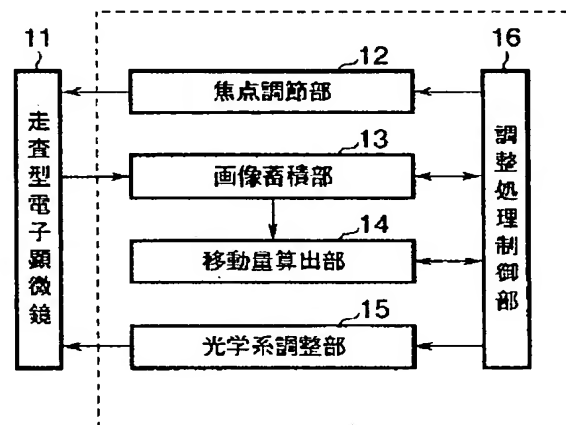
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

(54)【発明の名称】 走査型電子顕微鏡の電子光学系自動調節装置及び電子光学系自動調節方法

(57)【要約】

【課題】走査型電子顕微鏡から得られる画像を処理する装置を付加することによって、電子光学系の調整作業を自動化し、オペレータの作業負担を軽減させると共に半導体検査等における作業のスループットを大幅に向上させる。

【解決手段】焦点調節部12にて走査型電子顕微鏡11の対物レンズ屈折率を変更して焦点調節を行い、走査型電子顕微鏡11から順次得られる画像を画像蓄積部13に所定数分蓄積する。その後、移動量算出部14にて上記複数の画像中に存在する試料像の移動量を算出する。調整処理制御部16は上記試料像の移動量に基づいて電子光学系の調整を必要とするか否かを判断し、必要である場合には、光学系調整部15にて上記試料像の移動量に応じて走査型電子顕微鏡11の電子光学系を調整する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 走査型電子顕微鏡の電子光学系を調節する電子光学系自動調節装置であって、上記走査型電子顕微鏡の対物レンズ屈折率を変更して焦点調節を行う焦点調節手段と、この焦点調節手段による焦点調節によって上記走査型電子顕微鏡から順次得られる画像を所定数分蓄積する画像蓄積手段と、この画像蓄積手段に蓄積された上記複数の画像中に存在する試料像の移動量を算出する移動量算出手段と、この移動量算出手段によって算出された上記試料像の移動量に基づいて、上記走査型電子顕微鏡の電子光学系の調整を必要とするか否かを判断する調整処理制御手段と、この調整処理制御手段によって上記走査型電子顕微鏡の電子光学系の調整が必要であると判断された場合に、上記試料像の移動量に応じて上記走査型電子顕微鏡の電子光学系を調整する光学系調整手段とを具備したことを特徴とする電子光学系自動調節装置。

【請求項 2】 上記移動量算出手段は、上記画像蓄積手段に蓄積された上記複数の画像を二値化処理した後、その二値化された画像中に存在する試料像の基準位置を求め、その基準位置を追跡することによって上記試料像の移動量を算出することを特徴とする請求項 1 記載の電子光学系自動調節装置。

【請求項 3】 上記移動量算出手段は、上記複数の画像の統計的処理を行うことによって上記二値化処理のためのしきい値を算出することを特徴とする請求項 2 記載の電子光学系自動調節装置。

【請求項 4】 上記移動量算出手段は、上記画像蓄積手段に蓄積された上記複数の画像間で相関演算を行うことにより上記試料像の移動量を算出することを特徴とする請求項 1 記載の電子光学系自動調節装置。

【請求項 5】 上記移動量算出手段は、上記画像蓄積手段に蓄積された上記複数の画像から焦点量空間画像を作成することにより上記試料像の移動量を算出することを特徴とする請求項 1 記載の電子光学系自動調節装置。

【請求項 6】 走査型電子顕微鏡の電子光学系を調節する電子光学系自動調節装置の電子光学系自動調節方法であって、上記走査型電子顕微鏡の対物レンズ屈折率を変更して焦点調節を行い、この焦点調節によって上記走査型電子顕微鏡から順次得られる画像を所定数分蓄積し、この蓄積された上記複数の画像中に存在する試料像の移動量を算出し、この算出された上記試料像の移動量に基づいて、上記走査型電子顕微鏡の電子光学系の調整を必要とするか否かを判断し、上記走査型電子顕微鏡の電子光学系の調整が必要である

と判断された場合に、上記試料像の移動量に応じて上記走査型電子顕微鏡の電子光学系を調整するようにしたことを特徴とする電子光学系自動調節方法。

【請求項 7】 上記複数の画像を二値化処理した後、その二値化された画像中に存在する試料像の基準位置を求め、その基準位置を追跡することによって上記試料像の移動量を算出することを特徴とする請求項 6 記載の電子光学系自動調節方法。

【請求項 8】 上記複数の画像の統計的処理を行うことによって上記二値化処理のためのしきい値を算出することを特徴とする請求項 7 記載の電子光学系自動調節方法。

【請求項 9】 上記複数の画像間で相関演算を行うことにより上記試料像の移動量を算出することを特徴とする請求項 6 記載の電子光学系自動調節方法。

【請求項 10】 上記複数の画像から焦点量空間画像を作成することにより上記試料像の移動量を算出することを特徴とする請求項 6 記載の電子光学系自動調節方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、走査型電子顕微鏡において、電子光学系の自動調節を行う電子光学系自動調節装置及び電子光学系自動調節方法に関する。

【0002】

【従来の技術】走査型電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope、SEMと略す）は、半導体検査等の幅広い分野で盛んに利用されている。半導体等といった試料表面の微細構造を高倍率で検査するには、常にSEMの電子光学系が正確に調整されている必要がある。つまり、SEMの電子銃から照射される電子ビームが電子光学系で十分に絞り込まれ、電子ビームが電子光学系の中心を通過し、試料上の一点に集束するようにSEM電子光学系が調整されていなければ、試料の微細構造の鮮鋭な画像を獲得することができない。

【0003】このような電子光学系の調整作業には数種類あるが、その中で特に電子光学系の中心軸を電子ビームが通過するように対物レンズ絞りの軸合わせを行う調整作業を対物レンズアライメントと呼ぶ。

【0004】この対物レンズアライメントが狂っている、つまり対物レンズ絞りの中心が電子ビームの軸に合っていない場合には、試料に対して焦点を合わせる操作を行った時、試料像が画像中で動く。この状況は、試料に照射される電子ビームスポットの形状が真円にならない、いわゆる非点収差の原因となり、像の分解能を低下させる。このため、通常、オペレータが手作業で対物レンズを操作してオーバーフォーカスとアンダーフォーカスの像を交互に出力し、像が画像中で動かなくなるまで対物レンズ絞りの位置を調整する。

【0005】対物レンズアライメントは、SEMに加わる外的振動等によって狂いやすいため、定期的、あるいは

はSEMを使用する度に調整する必要があるが、通常はSEM画像を見ながらオペレータが手作業で行っている。しかし、熟練を要する作業であるために正確に調節できるオペレータが少なく、一般のSEM利用者が正確に調整するのは困難である。

【0006】さらに、電子光学系の調節に関する時間は、SEMが半導体検査に用いられる場合等には、検査のスループットに大きく影響することからも、調節の自動化が望まれている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記したように、従来では、走査型電子顕微鏡の対物レンズアライメントの調整作業は、オペレータが定期的、あるいは使用の度に手作業で行っていた。しかしながら、この調整作業は熟練を要する困難な作業であり、また、時間も要することから、SEMが多く用いられる半導体検査等の検査工程でのスループットを低下させる原因となっていた。

【0008】本発明はこのような事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、走査型電子顕微鏡から得られる画像を処理する装置を付加することによって、電子光学系の調整作業を自動化し、オペレータの作業負担を軽減させると共に半導体検査等における作業のスループットを大幅に向上させることにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は、走査型電子顕微鏡の電子光学系を調節する電子光学系自動調節装置であって、上記走査型電子顕微鏡の対物レンズ屈折率を変更して焦点調節を行う焦点調節手段と、この焦点調節手段による焦点調節によって上記走査型電子顕微鏡から順次得られる画像を所定数分蓄積する画像蓄積手段と、この画像蓄積手段に蓄積された上記複数の画像中に存在する試料像の移動量を算出する移動量算出手段と、この移動量算出手段によって算出された上記試料像の移動量に基づいて、上記走査型電子顕微鏡の電子光学系の調整を必要とするか否かを判断する調整処理制御手段と、この調整処理制御手段によって上記走査型電子顕微鏡の電子光学系の調整が必要であると判断された場合に、上記試料像の移動量に応じて上記走査型電子顕微鏡の電子光学系を調整する光学系調整手段とを具備したものである。

【0010】上記移動量算出手段は、上記画像蓄積手段に蓄積された上記複数の画像を二値化処理した後、その二値化された画像中に存在する試料像の基準位置を求め、その基準位置を追跡することによって上記試料像の移動量を算出することを特徴とする。

【0011】また、上記移動量算出手段は、上記複数の画像の統計的処理を行うことによって上記二値化処理のためのしきい値を算出することを特徴とする。また、上記移動量算出手段は、上記画像蓄積手段に蓄積された上記複数の画像間で相関演算を行うことにより上記試料像の移動量を算出することを特徴とする。

【0012】また、上記移動量算出手段は、上記画像蓄積手段に蓄積された上記複数の画像から焦点空間画像を作成することにより上記試料像の移動量を算出することを特徴とする。

【0013】このような構成によれば、焦点調節によって走査型電子顕微鏡から所定数分の画像が得られると、それらの画像中に存在する試料像の移動量が例えば画像の重心位置または相関演算または焦点空間画像によって求められる。この試料像の移動量が許容値以上であれば、電子光学系の調整が必要であると判断され、当該移動量に応じて走査型電子顕微鏡の電子光学系が調整される。

【0014】このように、走査型電子顕微鏡から得られる画像を処理することで、電子光学系の調整作業を自動化することができる。これにより、オペレータの作業負担を軽減させると共に半導体検査等における作業のスループットを大幅に向上させることが可能となる。

【0015】

【発明の実施の形態】

(第1の実施形態) 図1は本発明の第1の実施形態に係る電子光学系自動調節装置の構成を示すブロック図である。本装置は、走査型電子顕微鏡11、焦点調節部12、画像蓄積部13、移動量算出部14、光学系調整部15、調整処理制御部16とからなる。

【0016】走査型電子顕微鏡11は、半導体検査等の幅広い分野で利用されるものであり、半導体等といった試料表面の微細構造を高倍率で検査するためのものである。図2に走査型電子顕微鏡11の概略構成を示す。

【0017】焦点調節部12は、走査型電子顕微鏡11の対物レンズ屈折率を変更して焦点調節を行う。画像蓄積部13は、焦点調節部12による焦点調節によって走査型電子顕微鏡11の検出器から試料像を撮影して複数分の画像を蓄積する。移動量算出部14は、画像蓄積部13に蓄積された複数の画像中に存在する試料像の移動量を算出する。光学系調整部15は、走査型電子顕微鏡11の電子光学系を調節して対物レンズアライメントを調整(補正)する。調整処理制御部16は、走査型電子顕微鏡11の電子光学系調整処理全体の流れを制御する。

【0018】図2は図1中の走査型電子顕微鏡11の一般的な概略構成図である。焦点調節部12は、調整処理制御部16の制御の下で焦点調節信号202を出力し、走査型電子顕微鏡11の対物レンズ21の焦点調節を行う。画像蓄積部13は、走査型電子顕微鏡11の検出器22から出力される画像検出信号203をA/D変換して二次元の濃淡画像を蓄積する。光学系調整部15は、調整処理制御部16の制御の下で光学系調整信号201を出力し、走査型電子顕微鏡11の偏向器23を調整することによって対物レンズ21のアライメント調整を行う。

【0019】ここで、走査型電子顕微鏡11において、対物レンズ21のアライメントが狂っている場合には、試料24に対して焦点を合わせる（対物レンズ屈折率を調節する）操作を行った時、試料像が画像中で動く。したがって、焦点調節時の試料像の移動方向とその量から、レンズアライメントの調節量を知ることができる。そして、試料像が画像中で動かなくなるまで対物レンズ21の絞り位置の調節を繰り返すことによって、対物レンズアライメントを正確に調節（つまり、正しい位置に補正）することができる。

【0020】焦点調節時の試料像の移動量と方向を知るには、同じ試料を用いて様々に焦点を変えた画像を撮影し、焦点調節量に対する画像特徴の移動量を測定できれば良い。ここで課題となるのは、焦点調節による試料像の“ぼけ”に対しても、安定に画像追跡できる画像処理手法の実現である。

【0021】以下、第1の実施形態における電子光学系自動調節処理について説明する。図3は第1の実施形態における電子光学系自動調節処理の動作を示すフローチャートである。予め調整処理制御部16には、調節すべき焦点調節量 $S_n$ が設定されている（式1）。

【0022】

【数1】

$$\text{式1} \quad S_1, \dots, S_n, \dots, S_N \quad (n=1, \dots, N)$$

【0023】その値に従って、焦点調節部12が走査型電子顕微鏡11の対物レンズ21の焦点距離を調節する（ステップA11）。この後、走査型電子顕微鏡11において試料24が撮影され、その画像が画像蓄積部13に送られる（ステップA12）。

【0024】焦点調節量 $S_n$ に応じて獲得され、画像蓄積部13に蓄積された画像 $I(n)$ は、画像の横方向を $x$ （最大値 $X$ ）、縦方向を $y$ （最大値 $Y$ ）として、 $I_n(x, y)$ のように表される（式2）。

【0025】

【数2】

$$\text{式2} \quad I_n(x, y) \quad (x=1, \dots, X, \quad y=1, \dots, Y)$$

【0026】蓄積された画像 $I_n(x, y)$ は、次々と移動量算出部14に送られて、まず、以下のようにして画像中の各領域毎の重心位置が算出される。すなわち、移動量算出部14では、まず、式3に示されるように前

処理（ステップA13）によって前処理後の画像 $I'_n(x, y)$ が得られる。

【0027】

【数3】

$$\text{式3} \quad I'_n(x, y) = F \odot I_n(x, y)$$

（ $\odot$ はフィルタ $F$ の重畳演算を示す）

【0028】この前処理 $F$ としては、例えば、撮像系に

おける雑音を除去した後のラベル付け（ステップA16）でのラベル番号のオーバーフローを回避するための雑音除去処理が行われる。この雑音除去処理の最も単純なものとしては、図4に示すような $3 \times 3$ 画素の局所平均マスクの重畳演算による単純平滑化処理が挙げられる。さらに雑音除去性能を上げるために、 $3 \times 3$ 画素以上の任意の大きさのマスクを重畳しても良いし、マスクの各画素の値に任意の重み付けを行っても良い。また、単純平滑化処理だけでなく、メディアンフィルタといった統計的な処理を用いて雑音除去することも可能である。

【0029】前処理を施された画像 $I'_n(x, y)$ は、予め定められたしきい値 $th$ によって二値化処理され、式4に示されるように二値化画像 $J_n(x, y)$ が得られる（ステップA14）。このしきい値 $th$ は、画像 $I_n$ 全体に対して1つに定められても良いし、画像の座標 $I_n(x, y)$ に応じて別々の値が定められていても良い。

【0030】

【数4】

$$\text{式4} \quad J_n(x, y) = 1 : I_n(x, y) > th$$

$$0 : I_n(x, y) \leq th$$

二値化された画像 $J_n(x, y)$ は、画像中で連結する領域毎にラベル付けされ、式5に表されるラベル領域 $A_n(k)$ が得られる（ステップA15）。

【0031】

【数5】

$$\text{式5} \quad A_n(k) \quad (k=1, \dots, kn)$$

【0032】ここで、画像 $I_n(x, y)$ に対して得られるラベルの最大値は $Kn$ である。ラベル付け処理とは、各々独立の連結画像領域毎に単一のラベル番号を割り当てて画像変換する一般的な処理を指す（例えば、参考文献1）。

【0033】参考文献1：高木、下田監修「画像解析ハンドブック」東京大学出版会 ISBN 4-13-0061107-0 C3050

例えば図5に示されるような二値化画像は、ラベル付け処理によって図6のようになり、この図でのラベル番号の最大値 $Kn$ は「3」、ラベル領域は $A_n(1)$ 、 $A_n(2)$ 、 $A_n(3)$ の3つとなる。なお、図5および図6において、(a)は撮像された試料像、(b)はその試料像を画素単位で区切って示した図である。そして、各ラベル $A_n(k)$ に応じた画像領域の重心位置の $x$ 座標 $G_x(k)$ および $y$ 座標 $G_y(k)$ が式6によって算出される（ステップA16）。

【0034】

【数6】

7  
式6

$$GX_n(k) = \frac{\sum_x \ln(x,y) \cdot An(k)}{\sum \ln(x,y) \cdot An(k)} \quad , \quad GY_n(k) = \frac{\sum_y \ln(x,y) \cdot An(k)}{\sum \ln(x,y) \cdot An(k)}$$

【0035】実際には、より正確な重心位置算出を期するために、ラベル画像を補正するような後処理が、重心位置算出の前に行われても良い。このような後処理としては、例えばラベル画像の穴埋め処理や、穴埋め処理後の2次モーメント量等による特徴量算出処理等が挙げられる。これらの処理は、予め想定されている画像特徴のみをラベル領域として抽出できるようにするものである。

【0036】移動量算出部14では、焦点調節量 $S_n$ に応じた画像 $I_n(x, y)$ が画像蓄積部13に蓄積される毎に、この重心位置算出処理までをまず行い、画像 $I_n(x, y)$ の全てのラベル領域 $An(k)$ の重心位置 $GX_n(k)$ 、 $GY_n(k)$ を保存する。以上の処理は、調整処理制御部16で設定されている焦点調節量 $S_n$ について行われるまで繰り返される(ステップA17)。

【0037】ここで、例えばLSI等の半導体検査において撮影されるコンタクトホール像を用いて、焦点調節量が $-5\mu m$ 、 $0\mu m$ 、 $+5\mu m$ の3段階に設定されている場合のコンタクトホール画像と重心位置算出した結果を図7に示す。この例では、1つのコンタクトホールに対し、上述したような方法により重心位置が算出されている。

【0038】このようにして、設定されている全ての焦点調節量 $S_n$ について画像 $I_n(x, y)$ が撮影されて重心位置 $GX_n(k)$ 、 $GY_n(k)$ が算出された後、移動量算出部14は別々の焦点調節量に対する画像間において最も近傍の重心位置となるラベル領域同士を対応付けて重心追跡を行い(ステップA18)、焦点調節量に対する画像の移動量を算出する処理を行う(ステップA19)。

【0039】このステップA18での重心位置追跡処理について説明する。 $S_n$ と $S_m$ が焦点調節量の近いもの同士の一組であるとする。例えば $S_n$ が「-2」、「-1」、「0」、「+1」、「+2」の5段階設定されているとすると、「-2」と「-1」、「-1」と「0」、「0」と「+1」、「+1」と「+2」といった組合せである。各々の焦点調節量 $S_n$ と $S_m$ に対応するラベル領域 $An(k)$ と $Am(k')$ の組合せ全てについて、横方向の距離 $DX_{nm}$ および縦方向の距離 $DY_{nm}$ を式7によって算出する。

【0040】

【数7】

$$\begin{aligned} \text{式7} \quad DX_{nm} &= |GX_n(k) - GX_m(k')| \\ DY_{nm} &= |GY_n(k) - GY_m(k')| \\ (k=1, \dots, kn, \quad k'=1, \dots, km) \end{aligned}$$

また、ラベル領域 $An(k)$ と $Am(k')$ のユークリッド距離 $D_{nm}$ を式8によって求める。

【0041】

【数8】

$$\begin{aligned} \text{式8} \quad D_{nm} &= \sqrt{(DX_{nm})^2 + (DY_{nm})^2} \\ (x \cdot y) &\text{は} x \text{の} y \text{乗を示す} \end{aligned}$$

【0042】そして、 $An(k)$ と $Am(k')$ の全ての組合せの中で距離 $D_{nm}$ が最小となるもの同士を対応するラベル領域同士であるとする。このようなラベル領域の対応付けを、全ての焦点調節量が最も近い $S_n$ と $S_m$ の組合せについて行い、画像蓄積部13に蓄積されている全ての画像で得られた全てのラベル領域を対応付ける。

【0043】次に、ステップA19での移動量算出処理についてを説明する。ここでは、 $An(k)$ と $Am(k')$ はステップA18で対応付けられたラベル領域の組の一つであるとする。ステップA18と同様に、式7および式8を用いて $S_n$ と $S_m$ の横方向および縦方向の距離 $DX_{nm}$ 、 $DY_{nm}$ を求める。この距離 $DX_{nm}$ 、 $DY_{nm}$ は、a7において一旦算出されているので、その時の値を移動量算出部14に蓄積しておき、その値を用いても良い。ここで、先に挙げたような、 $S_n$ が-2、-1、0、+1、+2の5段階設定されている例のように、焦点調節量 $S_n$ が等しい間隔で設定されているものとし、対応付けられている全てのラベル領域 $S_n$ と $S_m$ の組の総数が $Na$ であるとする、式9を用いて単位焦点調節量あたりの画像横方向および縦方向の画像移動量 $T_x$ 、 $T_y$ が得られる。

【0044】

【数9】

式9

$$Tx = \frac{\sum DX_{nm}}{Na} \quad , \quad Ty = \frac{\sum DY_{nm}}{Na}$$

【0045】実際に画像移動量 $T_x$ 、 $T_y$ が算出された結果を図8に示す。この図の各値は6つのコンタクトホール画像に対して移動量を求めた結果を示している。この結果から、焦点調節量が $-5\mu m \rightarrow 0\mu m$ の時、平均で左(横方向 $x$ )に17.12画素、下(縦方向 $y$ )に30.74画素、 $0\mu m \rightarrow +5\mu m$ の時、平均で左(横方向 $x$ )に14.15画素、下(縦方向 $y$ )に25.45画素、試料像が移動しており、平均の画像移動量 $T_x$

および $T_y$ は、左に15.64画素、下に28.10画素となる。

【0046】最後に、調整処理制御部16にて、走査型電子顕微鏡11の電子光学系の調整が必要か否かが判断される(ステップA20)。ここでは、ステップA19で算出された画像移動量 $T_x$ 、 $T_y$ が、予め定められている許容移動量 $C_x$ および $C_y$ を下回っているか否かが式10により判断される。画像移動量 $T_x$ 、 $T_y$ が許容移動量未満で式10に示す2つの式が共に満たされるならば、電子光学系の調整の必要なしとして、全ての処理が完了する。

【0047】

【数10】

$$\text{式10} \quad T_x < C_x, \quad T_y < C_y$$

【0048】一方、ステップA20において許容移動量以上であると判断された場合には、次にステップA19において算出された画像移動量 $T_x$ 、 $T_y$ に応じて光学系調整部15によって走査型電子顕微鏡11の電子光学系が調整される。以後、これまで述べてきた処理を再度繰り返す。

【0049】光学系調整部15には、画像移動量 $T_x$ 、 $T_y$ に対して走査型電子顕微鏡11の任意のレンズあるいは偏向器23に対する調節量が設定されている。例えば、あるレンズあるいは偏向器23への調節量 $O_i$ が、式11のように任意の関数 $G$ で設定されていても良いし、あるいは任意の $T_x$ 、 $T_y$ に対してテーブルのような形で調節量 $O_i$ が設定されていても良い。

【0050】

【数11】

$$\text{式11} \quad O_i = G(T_x, T_y)$$

【0051】以上のようにして、ステップA20において画像移動量 $T_x$ 、 $T_y$ が許容値未満であると判断されるまで、図3に示される処理を繰り返すことにより、走査型電子顕微鏡11の電子光学系の自動調節が可能となる。

【0052】具体的に説明すると、例えば図7に示すように、3回の焦点調節により、3つの画像が走査型電子顕微鏡11から順に得られたとする。なお、このときの焦点調節回数は図3のステップA17に示されているように、規定焦点までの撮像回数に対応している。

【0053】これらの画像中に存在する試料像の重心位置を求め、それらの重心位置を追跡することにより、試料像の移動量を求める。上述したように、このときの試料像の移動量が許容値未満であれば、すなわち、焦点調節に対して試料像が移動しない状態であれば、その時点でレンズアライメントが合っていることになるので、電子光学系の調整の必要なしとして、ここでの処理を終える。

【0054】一方、試料像の移動量が許容値以上であれば、すなわち、焦点調節に対して試料像が移動する状態

であれば、その時点でまだレンズアライメントが合っていないことになるので、電子光学系の調整の必要ありとして、その調整を行った後、再びステップA1からの処理を繰り返す。

【0055】このようにして、走査型電子顕微鏡11から得られる画像を処理することで、電子光学系の調整作業を自動化することができる。この場合、図7(a)や同図(b)に示すように、焦点が合っていない状態では試料像がぼけてしまう。通常、試料像がぼけていると、正しい移動量が算出できないので、レンズアライメントを調整しづらいが、本発明の方式では、試料像のぼけに関係なく調整可能である。

【0056】なお、この第1の実施形態では、追跡対象を試料像の重心位置としたが、例えば試料像の中心位置でもよい。要は基準となる位置を定め、その位置を追跡することにより、試料像の移動量が算出できれば良い。

【0057】(第2の実施形態)次に、本発明の第2の実施形態を説明する。装置構成については、図1と同様であるため、ここではその説明を省略するものとする。

第2の実施形態における電子光学系自動調節処理のフローチャートを図9に示す。図9において、ステップB14のしきい値算出処理が移動量算出部14において行われること以外は、第1の実施形態と同じである。

【0058】すなわち、第1の実施形態では、画像 $I'_n(x, y)$ の二値化処理(図3のステップA14)のしきい値 $t_h$ が予め定められているものとしたが、焦点調節によって画像が“ぼけ”ている場合でも適正にラベル領域を抽出できるようにするには、撮影された試料像に応じて統計学的な処理を行って、最適なしきい値 $t_h$ を定める方が有効な場合がある。

【0059】そこで、第2の実施形態では、入力画像に対する二値化処理(ステップB15)の前処理として、しきい値算出処理(ステップB14)が挿入されている。このしきい値算出処理(ステップB14)の具体的な処理を図10のフローチャートに示す。

【0060】図10はしきい値算出処理の動作を示すフローチャートである。前処理(ステップB13)後の試料像の各画素 $I'_n(x, y)$ に対し、しきい値を算出するための画像領域 $R_n(x, y)$ が定められているものとする。この画像領域は任意に設定可能であり、例えば画素 $(x, y)$ を中心とした $15 \times 15$ 画素の矩形領域とか、あるいは画像全体 $I_n$ とかに設定できる。画像全体を指定した場合には、これからの処理で求められるしきい値 $t_{hn}(x, y)$ は座標によらず画像内で一定の値となる。

【0061】まず、しきい値算出処理(ステップB14)では、各画素 $I_n(x, y)$ の画像領域 $R_n(x, y)$ 内において画像の濃淡値のヒストグラム算出(ステップC11)が行われる。簡略化のために以降では、この画像領域 $R_n(x, y)$ についてのみ考えるものと

し、得られた各濃淡値  $i$  でのヒストグラム (頻度) を  $h_i$  とする。ここで、例えば 8 bit の濃淡画像が走査型電子顕微鏡 11 から得られる場合には、濃淡値  $i$  の最小値は「1」、最大値  $i_{\max}$  は「255」とした 256 段階の濃淡画像となる。

【0062】ステップ C11 で得られたヒストグラム  $h_i$  から、しきい値決定ステップ C13 に必要な統計量が統計量算出処理 (ステップ C12) において算出される。ここでは、判別分析法、あるいは大津の方法と呼ばれる方法を元にしたしきい値算出方法について述べる。

【0063】まず、ヒストグラム  $h_i$  から式 12 を用いて、濃淡値  $i$  に対する確率分布  $p_i$  が求められる。なお、式 12 中の  $N_r$  は領域  $R_n(x, y)$  に全画素数を示している。

【0064】

【数 12】

$$\text{式 12} \quad p_i = h_i / N_r$$

次に、式 13 によってクラス内確率和  $\omega_0$  および  $\omega_1$  が求められる。

【0065】

【数 13】

$$\text{式 13} \quad \omega_0 = \sum_{i=1}^k p_i, \quad \omega_1 = \sum_{i=k+1}^{i_{\max}} p_i$$

そして、式 14 によってクラス内平均  $\mu_0$  および  $\mu_1$  と全体平均  $\mu_t$  が求められる。

【0066】

【数 14】

$$\begin{aligned} \text{式 14} \quad \mu_0 &= \sum_{i=1}^k i \cdot p_i / \omega_0, \\ \mu_1 &= \sum_{i=k+1}^{i_{\max}} i \cdot p_i / \omega_1, \\ \mu_t &= \sum_{i=1}^{i_{\max}} i \cdot p_i \end{aligned}$$

【0067】これらのうち、クラス内確率和  $\omega_0$ ,  $\omega_1$ ,  $\mu_0$ ,  $\mu_1$  は  $k$  の全ての取りうる値について求められる。各  $k$  の値について、式 15 によってクラス間分散  $E(k)$  が求められる。

【0068】

【数 15】

$$\text{式 15} \quad E(k) = \omega_0(\mu_0 - \mu_t)^2 + \omega_1(\mu_1 - \mu_t)^2$$

( $x, y$ ) は  $x$  の  $y$  乗を示す)

【0069】最後に、しきい値決定処理 (ステップ C13) において、ステップ C12 で求められたクラス間分散  $E(k)$  のうちで最も大きな値となる  $k$  を、その画像領域  $R_n(x, y)$  での最適な二値化しきい値  $th_n$

( $x, y$ ) として出力することにより、この後の二値化処理 (ステップ B15) で式 16 によって最適な二値化画像  $J_n(x, y)$  が得られる。

【0070】

【数 16】

$$\text{式 16} \quad J_n(x, y) = 1 : \ln(x, y) > th_n(x, y)$$

$$0 : \ln(x, y) \leq th_n(x, y)$$

【0071】ここで、焦点調節量が  $-5 \mu m$ ,  $0 \mu m$ ,  $+5 \mu m$  の 3 段階に設定されている場合における二値化しきい値算出結果と二値化画像の例を図 11、図 12、図 13 に示す。この例では、各画素 ( $x, y$ ) に対応する画像領域  $R_n(x, y)$  が画像全体  $I_n$  に設定されており、しきい値  $th_n(x, y)$  は 1 つの画像で単一の値となっている。

【0072】また、第 2 の実施形態では、大津の方法によるしきい値決定方法について述べたが、この方法に限るものではなく、ラベル画像が画像全体に対して非常に小さな面積しかないような場合に関しては、以下に述べるような  $kittler$  の方法が有効なこともある。

【0073】この  $kittler$  方法は、統計量算出処理 (ステップ C12) においてクラス内確率和  $\omega_0$ ,  $\omega_1$  は式 13 と同様に求め、クラス内確率和  $\omega_0$ ,  $\omega_1$  に対応するクラス内分散を  $\sigma_0$ ,  $\sigma_1$  として求めた場合に、式 17 によって求められる統計量  $E'(k)$  が最小となるような  $k$  を、しきい値決定処理ステップ C13 における最適なしきい値  $th_n(x, y)$  とする方法である。

【0074】

【数 17】

$$\text{式 17} \quad E'(k) = \omega_0 \log(\sigma_0 / \omega_0) + \omega_1 \log(\sigma_1 / \omega_1)$$

【0075】このように、第 2 の実施形態によれば、複数の画像の統計的処理を行うことによって二値化処理のためのしきい値を算出し、そのしきい値に基づいて各画像を二値化する。これにより、焦点調節によって画像が“ぼけ”ている場合であっても、適正にラベル領域を抽出でき、より高精度な光学系調整を実現することができるものである。

【0076】(第 3 の実施形態) 次に、本発明の第 3 の実施形態を説明する。装置構成については、図 1 と同様であるため、ここではその説明を省略するものとする。第 3 の実施形態における電子光学系自動調節処理のフローチャートを図 14 に示す。図 14 において、焦点調節 (ステップ D11)、画像入力 (ステップ D12)、前処理 (ステップ D13)、撮影終了の判断 (ステップ D14)、光学系調整必要の判断 (ステップ D17)、光学系調整 (ステップ D18) に関しては、第 1 の実施形態で説明した図 3 中の対応する処理と同様であるため、ここではその説明を省略するものとする。

【0077】第 3 の実施形態では、第 1 の実施形態のよ



うに前処理(ステップD13)の後に二値化画像を求めたり重心位置を算出する処理はなく、その代わりとして、焦点調節に対する試料像の移動量を算出する処理(ステップD16)と、そのための画像領域間で相関値を計算処理(ステップD15)があり、それらの処理が第3の実施形態独自の方法で行われる。

【0078】ステップD14までの処理が終わり、画像蓄積部13に前処理が行われた規定数の画像 $I'_n$  ( $x, y$ )が蓄積されているものとする。また、第1の実施形態と同様に、焦点調節量 $S_n$ は等しい間隔で設定されているものとし、 $S_n$ と $S_m$ が焦点調節量の最も近いもの同士の一組であるとする。

【0079】第3の実施形態では、この焦点調節量 $S_n$ と $S_m$ に対応して得られる画像 $I'_n$ と $I'_m$ 間で最も相関値が高くなるように画像移動量 $T_x, T_y$ を算出し、これを光学系調節部15での光学系調節のための指標とする(ステップD18)。

【0080】焦点調節量 $S_n$ に対応して得られた試料像\*

$$\text{式18} \quad \theta = \sum_x \sum_y |I'_n(x1+x, y1+y) - I'_m(x2+x, y2+y)|$$

(ただし $x, y$ は $\forall I'_n(x1+x, y1+y) \in R_n$

かつ $\forall I'_m(x2+x, y2+y) \in R_m$ を満たす)

【0084】このような残差 $\theta$ を用いる方法は、SSDA法といった計算コストの少ない方法もあり、相関の度合いを求めるには簡便な手法である。また、 $R_n$ と $R_m$ の真の相互相関計数 $C$ 等を求めても良い。このような相関値計算は、ある一つの $R_n$ と、 $U_m$ に含まれる全ての $R_m$ の間で算出される。

【0085】次に、移動量算出処理(ステップD16)において、例えば残差 $\theta$ が求められている場合には、画像領域 $R_n$ に対して残差 $\theta$ が最も小さくなるような $R'_m$ を求め、式19を用いて画像領域 $R_n, R'_m$ の各々の基準座標( $x1, y1$ ), ( $x'2, y'2$ )の差を焦点調節量 $S_n, S_m$ 間での画像移動量 $T_x, T_y$ として算出することができる。この画像移動量 $T_x, T_y$ は全ての焦点調節量 $S_n$ と $S_m$ の組について算出され、各々の組で得られた $T_x, T_y$ の総平均値を画像移動量として出力する。

【0086】

【数19】

$$\text{式19} \quad T_x = x1 - x'2, \quad T_y = y1 - y'2$$

【0087】また、画像領域 $R_n$ と探索領域 $U_n$ は、ある画像 $I'_n$ に対して一つだけでなく複数設定されていても良く、この場合には全ての $T_x, T_y$ の総平均値が移動量算出部14から画像移動量として出力され、光学系調節部15での光学系調節のための指標とすることができる(ステップD18)。

【0088】このように、第3の実施形態によれば、複数の画像間で相関演算を行って試料像の移動量を求める

\*  $I_n$ に対して前処理が施された画像 $I'_n$ には、図15に示されるような画像領域 $R_n$ と探索領域 $U_n$ が設定されているものとする。

【0081】なお、図15では画像領域 $R_n$ と探索領域 $U_n$ が各々の矩形領域で描かれているが、これは任意の形状で任意の位置に設定することが可能であり、また、双方ともに画像全体に設定することも可能である。

【0082】相関値計算処理(ステップD15)では、焦点調節量 $S_n$ での試料像 $I'_n$ で設定されている画像領域 $R_n$ と、焦点調節量 $S_m$ での画像 $I'_m$ で設定されている探索領域 $U_m$ に含まれる任意の画像領域 $R_m$ との間で、各々の領域間の相関の度合いを示す統計量を算出する。例えば、画像領域 $R_n$ の基準座標を( $x1, y1$ )、画像領域 $R_m$ の基準座標を( $x2, y2$ )として、式18を用いて残差 $\theta$ を算出する。

【0083】

【数18】

ようにしたため、第1の実施形態のような重心位置の算出、追跡処理を必要とせず、簡単に試料像の移動量を求めることができる。

【0089】(第4の実施形態)次に、本発明の第4の実施形態を説明する。装置構成については、図1と同様であるため、ここではその説明を省略するものとする。

第4の実施形態における電子光学系自動調節処理のフローチャートを図16に示す。図16において、焦点調節(ステップE11)、画像入力(ステップE12)、前処理(ステップE13)、撮影終了の判断(ステップE14)、光学系調整必要の判断(ステップE17)、光学系調整(ステップE18)に関しては、第1の実施形態で説明した図3中の対応する処理と同様であるため、ここではその説明を省略するものとする。

【0090】第4の実施形態では、第1の実施形態のように前処理(ステップE13)の後に二値化画像を求めたり重心位置を算出する処理はなく、その代わりとして、焦点調節に対する試料像の移動量を算出する処理(ステップE16)と、そのための焦点量空間画像作成処理(ステップE15)があり、それらの処理が第4の実施形態独自の方法で行われる。

【0091】ステップE14までの処理が終わり、画像蓄積部13に前処理が行われた規定数の画像 $I'_n$  ( $x, y$ )が蓄積されているものとする。また、焦点調節量 $S_n$ は等しい間隔で多数設定されているものとする。このとき、各画像 $I'_n$  ( $x, y$ )から特定の $y$ 座標の値を持つ画像部分、つまり、ある $y$ 座標値に対応す

る横1ラインのスリット画像をnの順番に縦方向に並べると、図17に示されるような横軸がx座標で、縦軸が焦点調節量 $S_n$ となる画像を作成することができる。

【0092】このような画像を、ここでは焦点量空間画像と呼ぶことにする。また、あるx座標値に対応する縦1ラインのスリット画像をnの順番に縦方向に並べることにより、yに関する焦点量空間画像を作成することができる。このようにして、焦点量空間画像作成処理（ステップE15）において、予め設定されたxおよびyの座標値についての2つの焦点量空間画像が作成される。

【0093】このようにして作成された焦点量空間画像から、焦点調節量に対する試料像の移動量 $T_x$ 、 $T_y$ を以下のようにして算出する（ステップE16）。まず、2つの焦点量空間画像はsobelオペレータ等の空間微分処理を施すことによって、焦点調節によって生じた直線エッジのみが図18のように抽出される。そして、画像中の直線部分の傾きを求めるハフ変換のような処理によって（参考文献1）、各焦点量空間画像に含まれる複数の直線の傾き $b_i$ が全て求められ、 $b_i$ の総平均値 $b$ が求められる。

【0094】この平均の傾き $b$ （図18の画像中の直線部分の傾きの平均値）は、単位焦点調節量に対する試料像のx方向あるいはy方向の移動量を示すものである。したがって、x方向に関する焦点量空間画像から求められた傾き平均 $b$ は $T_x$ として、y方向に関する焦点量空間画像から求められた傾き平均 $b$ は $T_y$ として移動量算出部14から出力され、光学系調節部15での光学系調節のための指標とすることができる（ステップE18）。

【0095】このように、第4の実施形態によれば、複数の画像から焦点空間画像を作成し、その焦点空間画像から試料像の移動量を求めるようにしたため、第1の実施形態のような重心位置の算出、追跡処理を必要とせず、より簡単に試料像の移動量を求めることができる。

【0096】なお、上述した各実施形態において記載した手法は、コンピュータに実行させることのできるプログラムとして、例えば図19に示すように、磁気ディスク（フロッピーディスク、ハードディスク等）、光ディスク（CD-ROM、DVD等）、半導体メモリなどの記録媒体に書き込んで各種装置に適用したり、通信媒体により伝送して各種装置に適用することも可能である。また、本装置を実現するコンピュータは、記録媒体に記録されたプログラムを読み込み、このプログラムによって動作が制御されることにより、上述した処理を実行する。

【0097】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、走査型電子顕微鏡から得られる画像を処理する装置を付加することによって電子光学系の調整作業を自動化することができる。したがって、従来では走査型電子顕微鏡の電子光

学系調整作業が熟練を要する困難な作業であって一般の利用者には調整不可能であったり、半導体検査等の検査工程において電子光学系調整作業のせいで検査のスループットが低くなる問題があったが、本発明により、オペレータの作業負荷を軽減させると共に半導体検査等における作業のスループットを大幅に向上させることが可能となる等の実用上多大なる効果が奏せられる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の電子光学系自動調節装置の概略構成を示すブロック図。

【図2】上記電子光学系自動調節装置に適用される走査型電子顕微鏡の概略構成を示す図。

【図3】本発明の第1の実施形態における電子光学系自動調節処理の動作を示すフローチャート。

【図4】第1の実施形態における単純平滑化処理のための $3 \times 3$ 画素のマスキングを示す図。

【図5】第1の実施形態における二値化画像の一例を示す図。

【図6】第1の実施形態におけるラベル画像の一例を示す図。

【図7】第1の実施形態における焦点調節での重心位置算出の一例を示す図。

【図8】第1の実施形態における焦点調節に対する試料像の移動量の算出例を示す図。

【図9】本発明の第2の実施形態における電子光学系自動調節処理の動作を示すフローチャート。

【図10】第2の実施形態におけるしきい値算出処理の動作を示すフローチャート。

【図11】第2の実施形態における焦点調節 $-5 \mu m$ でのしきい値算出結果と二値化画像の例を示す図。

【図12】第2の実施形態における焦点調節 $0 \mu m$ でのしきい値算出結果と二値化画像の例を示す図。

【図13】第2の実施形態における焦点調節 $+5 \mu m$ でのしきい値算出結果と二値化画像の例を示す図。

【図14】本発明の第3の実施形態における電子光学系自動調節処理の動作を示すフローチャート。

【図15】第3の実施形態における相関値算出領域を示す図。

【図16】本発明の第4の実施形態における電子光学系自動調節処理の動作を示すフローチャート。

【図17】第4の実施形態における焦点量空間画像の一例を示す図。

【図18】第4の実施形態における焦点量空間画像の直線抽出例を示す図。

【図19】ソフトウェアによる本装置の供給方法を示す図。

【符号の説明】

11…走査型電子顕微鏡

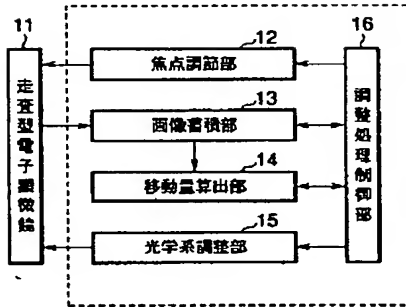
12…焦点調節部

13…画像蓄積部

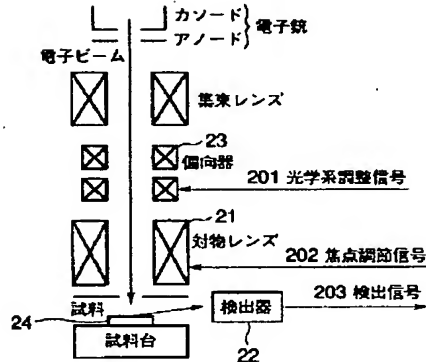
- 14…移動量算出部  
15…光学系調整部  
16…調整処理制御部  
21…対物レンズ  
22…検出器

- \* 23…偏向器  
24…試料  
201…光学系調整信号  
202…焦点調節信号  
\* 203…画像検出信号

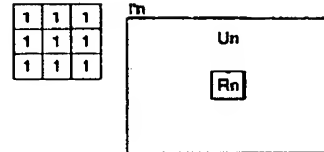
【図1】



【図2】

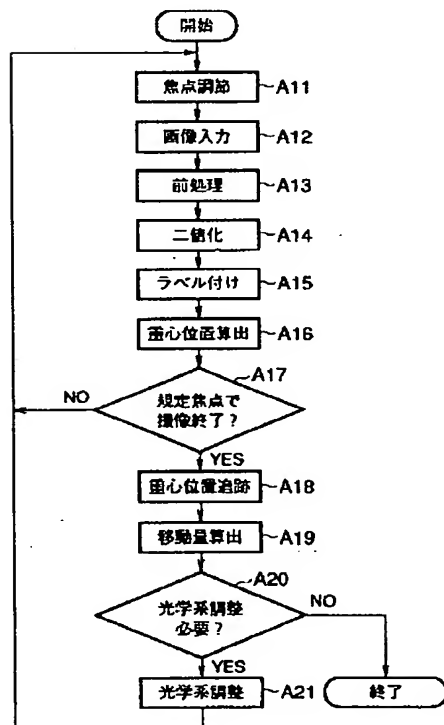


【図4】

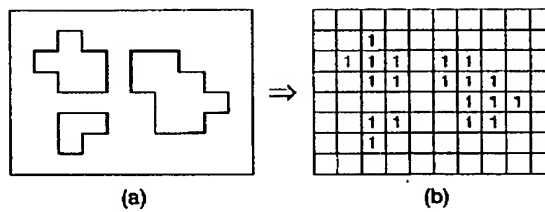


【図15】

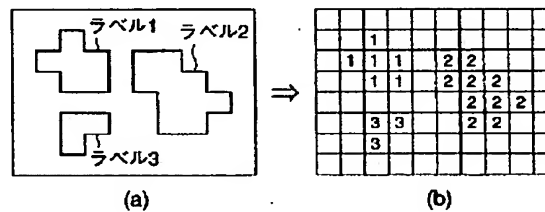
【図3】



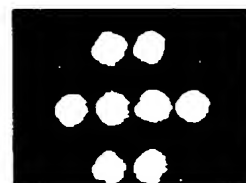
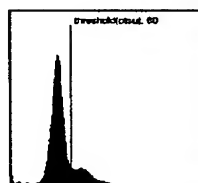
【図5】



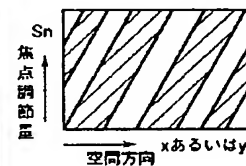
【図6】



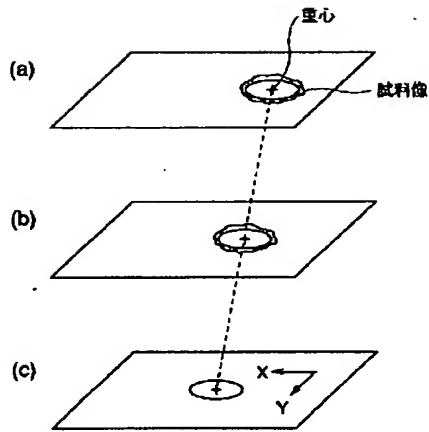
【図11】



【図17】



【図7】

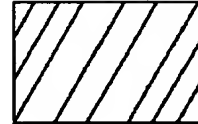


【図8】

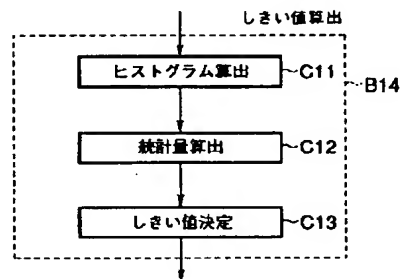
	$-5\mu\text{m} \rightarrow 0\mu\text{m}$ (x,y)移動量[画素]	$0\mu\text{m} \rightarrow +5\mu\text{m}$ (x,y)移動量[画素]
contact hole#1	(+17.61,+20.40)	(+13.67,+26.40)
contact hole#2	(+18.03,+30.68)	(+14.32,+26.76)
contact hole#3	(+18.91,+30.34)	(+13.84,+23.82)
contact hole#4	(+16.53,+30.73)	(+14.24,+24.89)
contact hole#5	(+16.05,+31.17)	(+14.78,+24.86)
contact hole#6	(+17.58,+32.10)	(+13.93,+25.99)
平均	(+17.12,+30.74)	(+14.15,+25.45)

注: x軸+:右、-:左 y軸+:下、-:上

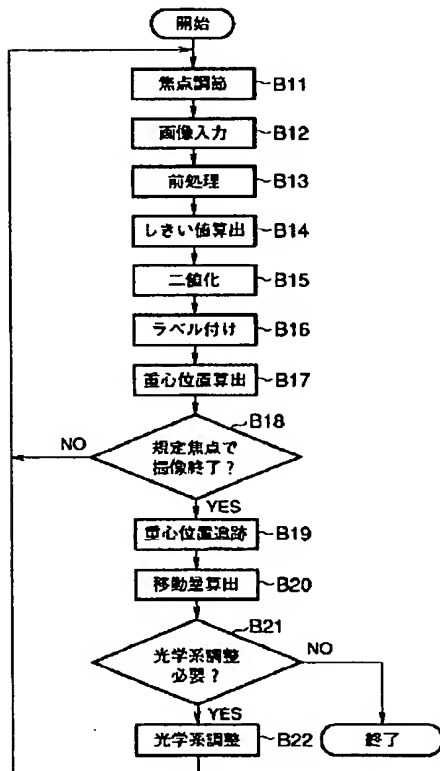
【図18】



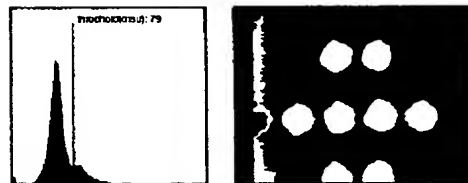
【図10】



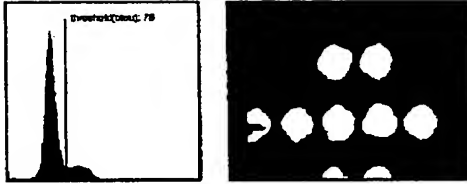
【図9】



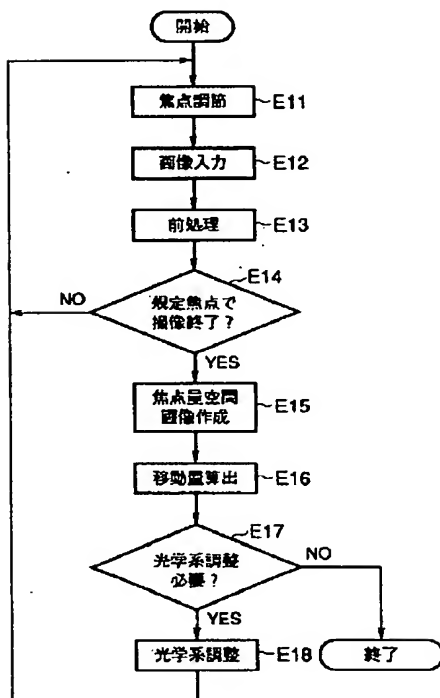
【図12】



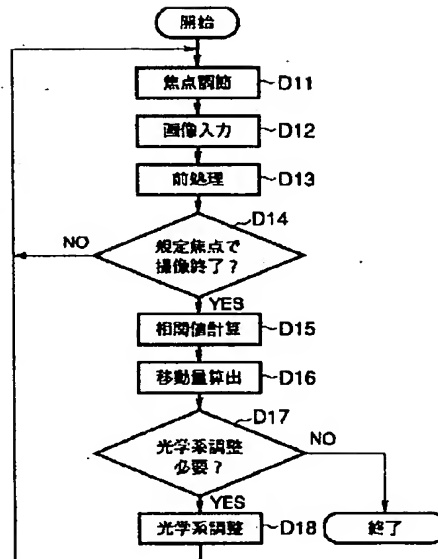
【図13】



【図16】



【図14】



【図19】

